



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 100 33 063 A 1**

⑤① Int. Cl. 7:
A 61 N 5/10
A 61 B 5/11
A 61 B 6/03

②① Aktenzeichen: 100 33 063.0
②② Anmeldetag: 7. 7. 2000
④③ Offenlegungstag: 24. 1. 2002

DE 100 33 063 A 1

⑦① Anmelder:
BrainLAB AG, 85551 Kirchheim, DE

⑦④ Vertreter:
Schwabe, Sandmair, Marx, 81677 München

⑦② Erfinder:
Schlossbauer, Cornel, 82152 Krailling, DE; Erbel,
Stephan, 80804 München, DE; Fröhlich, Stephan,
85609 Aschheim, DE

⑤⑥ Entgegenhaltungen:
DE 199 41 149 A1
DE 198 56 467 A1
DE 198 05 917 A1
US 55 38 494 A
EP 6 14 651 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Verfahren zur atemungskompensierten Strahlenbehandlung

⑤⑦ Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur atemungskompensierten Strahlenbehandlung, insbesondere Strahlentherapie/Strahlenchirurgie, bei dem die Bewegung des Zielvolumens im Patienten mittels einer Bewegungserfassungseinrichtung in Echtzeit bei dem Bestrahlungsvorgang erfasst und verfolgt wird, und bei dem mit Hilfe eines oder mehrerer Teile einer Strahlenbehandlungseinrichtung eine Anpassung an die Bewegung des Zielvolumens im Patienten erfolgt, um diese zu kompensieren, beziehungsweise bei der Behandlung zu berücksichtigen.

DE 100 33 063 A 1

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur atemungskompensierten Strahlenbehandlung, insbesondere zur atemungskompensierten Strahlentherapie bzw. Strahlenchirurgie.

[0002] Auf dem Gebiet der Strahlentherapie bzw. der Strahlenchirurgie sind in letzter Zeit große Fortschritte gemacht worden, was die Positionierung von Patienten zu Bestrahlungszwecken betrifft. So ist es mittels bekannter Navigations- und Positionierungs-Systeme mit an den Patienten angebrachten Markern, die durch ein Kamerasystem erfassbar sind und deren Position Computer gestützt erfassbar ist, möglich, Patienten beispielsweise durch eine automatisch gesteuerte Verschiebung einer Patientenliege so unterhalb einer Bestrahlungsgantry zu positionieren, dass das vorher lagemäßig mittels eines Schichtbildverfahrens bestimmte Bestrahlungsvolumen (zum Beispiel ein Tumor) sehr genau innerhalb des Strahlengangs zu liegen kommt.

[0003] Mit einer solchermaßen genauen Positionierung wird angestrebt, das gesunde Patientengewebe, welches das kranke Gewebe umgibt, möglichst zu schonen.

[0004] Ein großes Problem entsteht hier regelmäßig bei der Bestrahlung von Zielvolumen im Körperstamm, da der Patient naturgemäß auch während der Strahlenbehandlung atmen muss. Bei der Atembewegung können sich Organverschiebungen im Brust- und Bauchraumbereich ergeben, die im Bereich mehrerer Zentimeter liegen können. Solche Verschiebungen machen trotz genauester Vorpositionierungen eine punktgenaue Bestrahlung unmöglich oder erschweren diese in höchstem Maße.

[0005] Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren für die Strahlenbehandlung bereitzustellen, welches die genannten Probleme überwindet. Insbesondere soll eine atemungskompensierte Präzisionsstrahlenbehandlung ermöglicht werden.

[0006] Die vorliegende Erfindung löst diese Aufgabe durch eine atemungskompensierte Strahlenbehandlung, bei welcher die Bewegung des Zielvolumens im Patienten mittels einer Bewegungserfassungseinrichtung in Echtzeit bei dem Bestrahlungsvorgang erfasst und verfolgt wird, und bei dem mit Hilfe eines oder mehrerer Teile einer Strahlenbehandlungseinrichtung eine Anpassung an die Bewegung des Zielvolumens im Patienten erfolgt, um diese zu kompensieren bzw. zu berücksichtigen.

[0007] Die Vorteile der vorliegenden Erfindung beruhen vor allem auf der Tatsache, dass die Bewegung des Zielvolumens im Patienten selbst in Echtzeit erfasst wird. Damit wird es möglich, der Atmung sozusagen entgegenzuwirken, und da erfindungsgemäß die aktuelle Position des Zielvolumens im Patienten zu jedem Zeitpunkt der Behandlung bekannt ist, kann dafür gesorgt werden, dass der Strahl das Zielvolumen stets optimal trifft.

[0008] Wenn im Weiteren von Positionsüberwachung, Positionstracking oder -registrierung und ähnlichem die Rede ist, wird dabei auf beispielsweise mit Markern arbeitende Lageerfassungssysteme Bezug genommen, wie sie eingangs schon beschrieben wurden und wie sie aus dem Stand der Technik bekannt sind. Es ist nicht notwendig, auf technische Einzelheiten solcher Systeme näher einzugehen.

[0009] Bei einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird der Behandlungsstrahl eingeschaltet, wenn sich das Zielvolumen im Patienten innerhalb eines vorbestimmten Toleranzbereiches um den Zielpunkt des Bestrahlungsgeräts und ansonsten wird der Behandlungsstrahl abgeschaltet. Ein solcher Zielpunkt ist beispielsweise das Isozentrum des Strahles aus einer Linearbeschleuniger-Gantry und bei dieser Ausführungsform wird sichergestellt, dass die

Bestrahlung immer nur dann erfolgt, wenn sich das Zielvolumen bzw. das Zielvolumen im Patienten gerade im Bereich des Isozentrums befindet. Der angesprochene Toleranzbereich, in dem sich das Zielvolumen während der Bestrahlung befinden darf, wird dabei in der Regel vom behandelnden Arzt festgelegt, beispielsweise durch Eintragungen in die erfassten Bilddaten aus einem vorher durchgeführten Schichtbildaufnahmeverfahren.

[0010] Eine andere Möglichkeit, die vorliegende Erfindung durchzuführen, besteht darin, das Zielvolumen im Patienten während der Bestrahlung so zu bewegen, dass es sich immer innerhalb eines vorbestimmten Toleranzbereiches um Zielpunkt des Bestrahlungsgeräts befindet. Dabei wird also das Zielvolumen im Patienten, das sich aufgrund der Atmung bewegt, immer innerhalb einer bestimmten Toleranz um den Zielpunkt des Bestrahlungsgeräts gehalten, und zwar insbesondere durch die Bewegung des Patienten und vorzugsweise durch eine Nachführung der Patientenliege, angesteuert durch Informationen über die atembedingte Organverschiebung.

[0011] Die vorher angesprochene Bewegungserfassungseinrichtung zum Erkennen des Zielvolumens kann erfindungsgemäß eine oder mehrere der folgenden Einrichtungen verwenden:

- eine Röntgenanlage mit mindestens einer Röntgenquelle und mindestens einem Bildaufnehmer/Detektor, der vorzugsweise amorphes Silizium verwendet;
- eine Ultraschallanlage mit automatisierter, bevorzugt dreidimensionaler Bildverarbeitung und Konturerkennung und im Behandlungsraum positionsregistriertem Ultraschallkopf;
- ein in die Strahlenbehandlungseinrichtung integriertes, bildgebendes 3D-Echtzeitbildsystem, insbesondere ein offenes Magnetresonanzenzsystem.

[0012] Eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass im Zielvolumen des Patienten oder in seiner unmittelbaren Nähe eine durch die Bewegungserfassungseinrichtung erfassbare und verfolgbare Markierung angeordnet wird; deren Bewegung einen unmittelbaren Rückschluss auf die Bewegung des Zielvolumens im Patienten gestattet. Damit wird eine Online-Verfolgung des Zielvolumens im Patienten möglich, da die Markierung, wenn sie in unmittelbarer Nähe oder direkt im Zielvolumen im Patienten angeordnet ist, dieselben oder sehr ähnliche Bewegungen durchführen wird, wie das Zielvolumen selbst. Im Gegensatz zu den meisten Bestrahlungszielen ist die Markierung durch Trackingsysteme stets, leicht verfolgbar und die Bestrahlung selbst kann ohne weiteres auf die Bewegung des Zielvolumens im Patienten abgestimmt werden.

[0013] Es gibt mehrere Möglichkeiten, die vorher angesprochene Markierung zu realisieren, und eine davon besteht darin, dass eine implantierte Spule in Verbindung mit externen Magnetfeldspulen verwendet wird, deren Position im Behandlungsraum registriert ist.

[0014] Bevorzugt wird als Markierung ein oder mehrere implantierte, von der Bewegungserfassungseinrichtung erkennbare und verfolgbare Marker verwendet. Insbesondere eine oder mehrere Implantate, wie zum Beispiel chirurgische Clips, Drähte oder Edelmetall (mit einem geringen Durchmesser von etwa 1 bis 3 mm, bevorzugt 2 mm). Diese Implantate können dann durch eine der vorher besprochenen Bewegungserfassungseinrichtungen beobachtet und getrackt werden.

[0015] Falls eine oben angesprochene Online-Verfolgung des Tumors aus technischen Gründen oder Ausstattungs-

gründen nicht möglich ist, beinhaltet die Erfindung eine alternative Lösung, bei der die Bewegung des Zielvolumens in Echtzeit dadurch erfasst und verfolgt wird, dass durch eine Positionsverknüpfung von während der Behandlung in einfacher Weise zu erfassenden Parametern und dem Zielvolumen im Patienten auf die aktuelle Position des Zielvolumens geschlossen wird. Man geht hierbei also einen Umweg, d. h. man verfolgt während der Bestrahlung das Zielvolumen im Patienten nicht selbst, sondern misst einen anderen Parameter, der relativ leicht zu erfassen ist und dessen Veränderung in Relation zur Veränderung des Ortes des Zielvolumens im Patienten steht. Aus dieser relativ stabilen Relation kann dann jeweils in Echtzeit der Ort des Zielvolumens im Patienten bestimmt werden und eine Abstimmung der Bestrahlung ist möglich.

[0016] Bei einer bevorzugten Ausführungsform des letztgenannten Verfahrens wird die Verknüpfung dadurch erhalten, dass vor der Behandlung durch eine Bewegungserfassungseinrichtung ein Zusammenhang zwischen den in einfacher Weise zu erfassenden Parametern und der atemungsabhängigen Bewegung des Zielvolumens im Patienten erfasst wird, wobei dann während der Behandlung die in einfacher Weise zu erfassenden Parameter verfolgt und hieraus auf die aktuelle Position des Behandlungsziels geschlossen wird. Mit anderen Worten werden einmalig bzw. vor jeder Bestrahlung diese in einfacher Weise zu erfassenden Parameter und die schwieriger zu beobachtende momentane Lage der internen Strukturen zeitsynchron erfasst und nachdem dieser Zusammenhang bekannt ist, genügt es während der Bestrahlung die in einfacher Weise zu erfassenden Parameter zu überwachen, um auf die aktuelle Position des Zielvolumens im Patienten rückzuschließen. Die angesprochenen, in einfacher Weise zu erfassenden Parameter sind bewegungskennzeichnende Parameter und es können einer oder mehrere aus der folgenden Liste verwendet werden:

- die Bewegung von am Patienten angebrachten Markern, insbesondere aufgeklebten Reflexionsmarkern, die vorzugsweise Infrarotlicht reflektieren und durch ein computergestütztes Kamerasystem in ihrer Position verfolgt werden;
- die Konturänderungen des Patienten, insbesondere überwacht mittels Videokamera anhand von Interferenzmustern oder polarisiertem Licht;
- die Längenänderung von Dehnungsmessbändern, die insbesondere ihren elektrischen Widerstand mit der Länge verändern;
- Spirometrie bzw. Atemflussanalyse;
- Elektromyographie bzw. die Veränderung elektrischer Potentiale an Muskeln;
- die Bewegung eines oder mehrerer Punkte der Patientenoberfläche, die mechanisch abgetastet und koordinatenmäßig erfasst wird.

[0017] Gemäß der vorliegenden Erfindung kann der oben angesprochene Zusammenhang zwischen den in einfacher Weise zu erfassenden Parametern und der atemungsabhängigen Bewegung des Zielvolumens im Patienten vor der Behandlung durch eines oder mehrere der folgenden Mittel erfasst werden:

- eine Standard-Durchleuchtungsanlage, mobil oder fest, bevorzugt ein C-Bogen-Röntgengerät;
- eine Röntgenanlage mit mindestens einer Röntgenquelle und mindestens einem Bildaufnehmer/Detektor;
- ein atemungsgesteuertes Schichtbildaufnahmeverfahren mit Triggerung durch einen der in einfacher Weise zu erfassenden, bewegungskennzeichnenden Parame-

ter.

[0018] Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zur atemungskompensierten Strahlenbehandlung, welches die bisher oben beschriebenen Merkmale aufweisen kann und bei dem die momentane Atemlage des Patienten ermittelt und die Atemungskompensation sowie die Atemlage zur Bestrahlung aufeinander abgestimmt werden. Als Atemlage oder Atemniveau wird hierin eine zeitliche Beschreibung einer bestimmten Phase der Atmung im Verlauf des Ein-/Ausatemzyklus definiert. Zusätzlich beschreibt die Atemlage die Atemtiefe und einen gewissen Offset, der durch das schwankende Grundvolumen der Lungenfüllung begründet ist. Die Atemlage erlaubt den Rückschluss auf das aktuell in der Lunge befindliche Luftvolumen.

[0019] Sowohl während eines Schichtbildaufnahmeverfahrens als auch während einzelner Bestrahlungstermine ändern Patienten ihre mittlere Atemlage und ihre Atemamplitude. Dieses sogenannte Drift führt zu einer langsamen Verschiebung, die sich über die atembedingten, kurzzeitigen Verschiebungen überlagert. Die driftbedingten Abweichungen sind nicht voraussagbar und in manchen Fällen noch deutlich stärker als die periodischen Schwankungen.

[0020] Die Ermittlung der Atemlage des Patienten basiert auf folgendem Prinzip:

Auf dem Thorax des Patienten angebrachte Marker bewegen sich während der Atmung auf charakteristischen Bahnkurven. Zusätzlich weist jeder Patient einen definierten Unterschied zwischen maximaler Inhalation und Exhalation (Vitalkapazität) auf. Diese Extrempunkte definieren das obere bzw. untere Ende der Bahnkurven. Die Koordinaten dieser Extrema werden abgespeichert, so dass die Koordinaten für den Zustand maximaler Inhalation und maximaler Exhalation bekannt sind. Durch Vergleich dieser abgespeicherten Werte mit den aktuellen Koordinaten der Marker lässt sich somit der Grad des Einatmens (= Atemlage) definieren. Dies gilt jedoch nur, solange der Patient in unveränderter Lage, und somit im gleichen Raumkoordinatensystem verbleibt. Wird die Lage des Patienten verändert (der Patient wird z. B. vom CT zum Beschleuniger verbracht), so ist das zuvor verwendete Raumkoordinatensystem nicht mehr gültig. Soll nun im neuen Raumkoordinatensystem erneut die Atemlage bestimmt werden, so wird wie folgt vorgegangen: Der Patient wird angewiesen erneut voll ein- und auszuatmen, wobei die Bahnkurven der Marker und deren Extrema neu abgespeichert werden. Daraufhin werden die Bahnkurven in beiden Räumen zueinander in Referenz gesetzt, wodurch ein quantitativer Vergleich der Atemlagen möglich wird. Dies erlaubt eine zuvor definierte Atemlage an einem neuen Ort, oder während eines neuen Behandlungstermins eindeutig wiederzufinden.

[0021] Durch die erfindungsgemäße Ermittlung der Atemlage des Patienten und die Abstimmung der Atemungskompensation auf die Atemlage wird verhindert, dass die genannte Drift zu Fehlbestrahlungen führt. Kennt man nun die momentane Atemlage des Patienten im Verhältnis zur Atemlage bei dem Schichtbildaufnahmeverfahren (z. B. CT- oder MR-Scan) hat man die Möglichkeit, die Atemungskompensation und die Atemlage aufeinander abzustimmen. Dazu werden aktuelle und Referenz-Atemlage kontinuierlich während der gesamten Behandlungsdauer verglichen. Im Falle eines Unterschiedes zwischen den Atemlagen wird der Patient dahingehend beeinflusst, dass die Atemlagen wieder übereinstimmen. Dies kann z. B. dadurch geschehen, dass (bevorzugt automatisch) Signale an den Patienten abgegeben werden, um ihn wieder in die richtige Atemlage zu bringen. Solche Signale können akustische, visuelle oder haptische Signale sein.

[0022] Anhand der beiliegenden Zeichnungen werden einzelne Aspekte der vorliegenden Erfindung näher erläutert. Es zeigen:

[0023] Fig. 1 einen Querschnitt durch den menschlichen Körper, wobei virtuelle Zielvolumen bezeichnet sind, deren Verschiebung bei der Atmung gemessen wurden;

[0024] Fig. 2 eine Darstellung einer Atemkurve über die Zeit, mit eingetragenen Anschaltzeiten für eine Bestrahlungseinrichtung;

[0025] Fig. 3 die Atemlage eines Patienten, aufgetragen über die Zeit;

[0026] Fig. 4 ein Diagramm mit Atemkurven zur Erläuterung der Abstimmung der Atemlage über die Einflussnahme auf den Patienten (coaching); und

[0027] Fig. 5 und 6 Markerbahnen zur Abstimmung der Atemlungskompensation auf die aktuelle Atemlage.

[0028] In der Fig. 1 ist ein Schnittbild durch den Körperstamm eines Patienten gezeigt, auf dem verschiedene Stellen mit den Positionen 1 bis 5 gekennzeichnet sind. Die Organverschiebungen, die bei der Atmung auftreten, wurden an diesen Stellen kartographiert. Dabei stellte sich bei der beobachteten Person heraus, dass die folgenden Verschiebungen (absolute Distanz) bei der Atmung auftraten:

Punkt 1: 12 mm

Punkt 2: 45 mm

Punkt 3: 60 mm

Punkt 4: 35 mm

Punkt 5: 35 mm

[0029] Bei Verschiebungen dieser Größenordnung können Bestrahlungen ohne Atemlungskompensation unmöglich punktgenau erfolgen. Um diesem Problem entgegenzuwirken, wird das schon vorher ausführlich beschriebene, erfindungsgemäße Verfahren angewendet, bei dem die Bewegung eines Zielvolumens im Patienten mittels einer Bewegungserfassungseinrichtung in Echtzeit bei dem Bestrahlungsvorgang erfasst und verfolgt wird und bei dem mit Hilfe eines oder mehrerer Teile einer Strahlenbehandlungseinrichtung eine Anpassung an die Bewegung des Zielvolumens im Patienten erfolgt, um diese zu kompensieren.

[0030] Eine Möglichkeit, eine solche Kompensierung durchzuführen, besteht im sogenannten "gating", bei dem der Behandlungsstrahl immer nur solange eingeschaltet wird, wie sich das Zielvolumen im Patienten innerhalb eines vorbestimmten Toleranzbereiches um den Zielpunkt des Bestrahlungsgerätes befindet. Diese Situation ist in der Grafik der Fig. 2 veranschaulicht. Hier ist eine Atemkurve über der Zeit eingetragen und es sind diejenigen Zeitabschnitte dunkel markiert, in denen der Strahl angeschaltet ist. Aus der Grafik ist zu entnehmen, dass der Strahl immer nur dann angeschaltet wird, wenn sich die Atemkurve unterhalb eines bestimmten Niveaus befindet. Zu diesen Zeitpunkten liegt das Zielvolumen, beispielsweise ein Tumor innerhalb eines vom Arzt festzulegenden Toleranzbereiches um den Zielpunkt des Bestrahlungsgerätes herum, so dass man davon ausgehen kann, dass hier bei der Bestrahlung gesunde Gewebeabschnitte optimal geschont wird.

[0031] In der Fig. 3 ist wiederum eine Atemlagen-Kurve über die Zeit aufgetragen und zwar um die Drift der Atemlage zu erläutern, wie sie über längere Zeit bei Patienten vorkommt. Während eines Schichtbildaufnahmeverfahrens und auch während einer Strahlenbehandlung ändert sich die mittlere Atemlage (Atemniveau) ebenso wie die Atemamplitude. Dieses als Drift bezeichnete Phänomen führt zu einer langsamen Verschiebung eines Zielvolumens, die sich über die atembedingten, kurzzeitigen Verschiebungen überlagert. In der Darstellung der Fig. 3 erkennt man über den gesamten Zeitraum eine deutliche Verschiebung der Atemlage nach unten, d. h. zu einem geringeren Grundfüllvolu-

men der Lunge hin. Die Erfindung löst das Problem der Driftverschiebung dadurch, dass die momentane Atemlage des Patienten ermittelt und die Atemlungskompensation und die Atemlage zur Bestrahlung aufeinander abgestimmt werden.

[0032] Eine Möglichkeit, eine solche Abstimmung herbeizuführen, ist in dem Diagramm der Fig. 4 dargestellt. Bei dieser Methode wird durch akustische, visuelle oder haptische Anweisungen, die vorzugsweise automatisch erzeugt werden, auf den Patienten eingewirkt, um die Atemlage wieder in einen Bereich zu bringen, der eine Atemlungskompensation durch ein "Gating" gestattet.

[0033] Veranschaulicht ist diese Möglichkeit in Fig. 4. In diesem Diagramm ist auf der Hochachse der Atemphasenindikator (Breath Phase Indicator: BPhI) aufgetragen, während senkrecht dazu wiederum eine Zeitachse verläuft. Der Atemphasenindikator ist ein Maß für die Bewegung und Position des Zielvolumens und er lässt sich aus den Daten eines Marker-Trackings für jeden Patienten individuell errechnen. Durch verschiedene mathematische Operationen kann das System einen Atemphasenwert ausgeben, der Vergleiche zwischen mehreren Setups zulässt. In Fig. 4 ist an der Hochachse entlang der Toleranzbereich für die Bestrahlung grau markiert; falls sich die Atmung in diesem Bereich bewegt, kann bestrahlt werden. Es sind drei verschiedene Atemlungskurven eingetragen, wobei die Kurve mit der durchgezogenen Linie eine Atemlage darstellt, bei der es nicht notwendig ist, den Patienten anzuweisen, seine Atmung zu ändern.

[0034] Wird die Atemlage niedriger, sinkt also das Grundvolumen der Lunge, tritt beispielsweise ein Zustand ein, wie er durch die gepunktete Linie dargestellt ist. Am unteren lokalen Extremum unterschreitet die Atemlungsamplitude einen gewissen Wert (coach-up trigger level) und es erfolgt die Anweisung an den Patienten, etwas mehr einzuatmen.

[0035] Die gestrichelte Linie zeigt einen Fall, in dem die Atemlage zu weit absinkt, so dass ihr unteres Extremum unterhalb des Toleranzbereiches für die Bestrahlung fällt. In diesem Fall wird der Strahl abgeschaltet und es erfolgt wiederum eine Anweisung an den Patienten, etwas mehr einzuatmen. Mit dieser Methode lassen sich über den Behandlungsverlauf gute effektive Bestrahlungszeiten erreichen.

[0036] Eine andere Methode, die im Weiteren anhand der Fig. 5 bis 6 erläutert wird, basiert darauf, den Patienten, wenn er während der Behandlung eine andere Atemlage hat als beim Erstellen der Schichtbildaufnahmen (z. B. CT- oder MR-Scan), so zu repositionieren, dass der Behandlungsstrahl wiederum in dem gewünschten Toleranzbereich eintritt.

[0037] In Fig. 5 sind nebeneinander zwei Markerbahnen dargestellt. Es handelt sich hier beispielsweise um eine zweidimensionale Projektion der Bewegungsbahn eines auf das Sternum aufgesetzten Markers zwischen zwei Extremlagen, nämlich jeweils oben links dem Punkt des vollständigen Einatmens und unten rechts dem Punkt des vollständigen Ausatmens. Links ist in Fig. 5 die Referenzbahn dargestellt, d. h. diejenige Bahn, die der Marker bei der Erfassung durch das Schichtbildaufnahmeverfahren durchlaufen hat, und rechts diejenige Bahn, die der Marker kurz vor der Strahlenbehandlung zwischen den beiden Extremlagen abfährt.

[0038] Da der Unterschied zwischen vollständiger Inhalation und vollständiger Exhalation in beiden Situationen derselbe ist, lassen sich die Bahnen direkt vergleichen.

[0039] Erkennt man nun in einem Trackingsystem für den Marker einen Zustand, wie er in Fig. 5 dargestellt ist, bei dem die Referenzbahn R und die aktuelle Markerbahn A aufeinanderliegen, so kann man den Patienten durch Ver-

schiebung der Patientenliege so positionieren, dass die beiden Markerbahnen überlappen, so dass sich ein Bild ergibt, wie es in Fig. 6 dargestellt ist.

Patentansprüche

1. Verfahren zur atemungskompensierten Strahlenbehandlung, insbesondere Strahlentherapie/Strahlenchirurgie, bei dem die Bewegung des Zielvolumens im Patienten mittels einer Bewegungserfassungseinrichtung in Echtzeit bei dem Bestrahlungsvorgang erfasst und verfolgt wird, und bei dem mit Hilfe eines oder mehrerer Teile einer Strahlenbehandlungseinrichtung eine Anpassung an die Bewegung des Zielvolumens im Patienten erfolgt, um diese zu kompensieren, beziehungsweise bei der Behandlung zu berücksichtigen.
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der Bestrahlungsstrahl eingeschaltet wird, wenn sich das Zielvolumen im Patienten innerhalb eines vorbestimmten Toleranzbereiches um den Zielpunkt des Bestrahlungsgeräts befindet, und ansonsten abgeschaltet ist.
3. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem das Zielvolumen im Patienten während der Bestrahlung so bewegt wird, dass es sich immer innerhalb eines vorbestimmten Toleranzbereiches um den Zielpunkt des Bestrahlungsgeräts befindet, insbesondere durch Bewegung des Patienten und vorzugsweise durch eine Nachführung der Patientenliege.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem die Bewegungserfassungseinrichtung eine oder mehrere der folgenden Einrichtungen verwendet:
 - eine Röntgenanlage mit mindestens einer Röntgenquelle und mindestens einem Bildaufnehmer/Detektor;
 - eine Ultraschallanlage mit automatisierter, bevorzugt dreidimensionaler Bildverarbeitung und Konturerkennung und im Behandlungsraum positionsregistriertem Ultraschallkopf;
 - ein in die Strahlenbehandlungseinrichtung integriertes, bildgebendes 3D-Echtzeitsystem, insbesondere ein offenes Magnetresonanzsystem.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem innerhalb des Zielvolumens oder in seiner unmittelbaren Nähe eine durch die Bewegungserfassungseinrichtung erfassbare und verfolgbare Markierung angeordnet wird, deren Bewegung einen unmittelbaren Rückschluss auf die Bewegung des Zielvolumens im Patienten gestattet.
6. Verfahren nach Anspruch 5, bei dem als Markierung eine implantierte Spule in Verbindung mit externen Magnetfeldspulen verwendet wird, deren Position im Behandlungsraum registriert ist.
7. Verfahren nach Anspruch 5, bei dem als Markierung implantierte, von der Bewegungserfassungseinrichtung erkennbare und verfolgbare Marker verwendet werden, insbesondere Implantate, wie zum Beispiel chirurgische Clips, Drähte oder Edelmetallkugeln.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem die Bewegung des Zielvolumens im Patienten in Echtzeit dadurch erfasst und verfolgt wird, dass durch eine Positionsverknüpfung von während der Behandlung in einfacher Weise zu erfassenden Parametern und dem Zielvolumen im Patienten auf die aktuelle Position des Zielvolumens im Patienten geschlossen wird.
9. Verfahren nach Anspruch 8, bei dem die Verknüpfung dadurch erhalten wird, dass vor der Behandlung durch eine Bewegungserfassungseinrichtung ein Zusammenhang zwischen den in einfacher Weise zu erfassenden Parametern und der atemungsabhängigen Bewegung des Zielvolumens im Patienten erfasst wird, wobei dann während der Behandlung die in einfacher Weise zu erfassenden Parameter verfolgt und hieraus auf die aktuelle Position des Behandlungsziels geschlossen wird.

fassenden Parametern und der atemungsabhängigen Bewegung des Zielvolumens im Patienten erfasst wird, wobei dann während der Behandlung die in einfacher Weise zu erfassenden Parameter verfolgt und hieraus auf die aktuelle Position des Behandlungsziels geschlossen wird.

10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9, bei dem als in einfacher Weise zu erfassende Parameter einer oder mehrere der folgenden bewegungskennzeichnenden Parameter verwendet werden:

- die Bewegung von am Patienten angebrachten Markern, insbesondere aufgeklebten Reflexionsmarkern, die vorzugsweise Infrarotlicht reflektieren;
- die Konturänderungen des Patienten, insbesondere überwacht mittels Videokamera anhand von Interferenzmustern oder polarisiertem Licht;
- die Längenänderung von Dehnungsmessbändern, die insbesondere ihren elektrischen Widerstand mit der Länge verändern;
- Spirometrie bzw. Atemflussanalyse;
- Elektromyographie bzw. die Veränderung elektrischer Potentiale an Muskeln;
- die Bewegung eines oder mehrerer Punkte der Patientenoberfläche, die mechanisch abgetastet und koordinatenmäßig erfasst wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 10, bei dem der Zusammenhang zwischen den in einfacher Weise zu erfassenden Parametern und der atemungsabhängigen Bewegung des Zielvolumens im Patienten vor der Behandlung erfasst wird durch eines oder mehrere der folgenden Mittel:

- eine Standard-Durchleuchtungsanlage, mobil oder fest, bevorzugt ein C-Bogen-Röntgengerät;
- eine Röntgenanlage mit mindestens einer Röntgenquelle und mindestens einem Bildaufnehmer/Detektor;
- ein atemungsgesteuertes Schichtbildaufnahmeverfahren (z. B. CT oder MR) mit Triggerung durch einen der in einfacher Weise zu erfassenden, bewegungskennzeichnenden Parameter.

12. Verfahren zur atemungskompensierten Strahlenbehandlung, insbesondere nach einem der Ansprüche 1 bis 11, bei dem die momentane Atemlage des Patienten ermittelt und die Atemungskompensation und die Atemlage zur Bestrahlung aufeinander abgestimmt werden.

13. Verfahren nach Anspruch 12, bei welchem die momentane Atemlage wie folgt ermittelt wird:

- eine oder mehrere Markierungen die sich während der Atmung auf charakteristischen Bahnkurven bewegen, werden auf den Körper des Patienten, bevorzugt im Thoraxbereich, angebracht;
- die Koordinaten der Extremitäten bei maximaler Inhalation und Exhalation, die für jeden Patienten eine definierte Differenz beschreiben, werden erfasst und abgespeichert;
- die abgespeicherten Koordinaten werden mit aktuell erfassten Koordinaten für die Markierungen verglichen, und auf dieser Basis wird der Grad des Einatmens bzw. die Atemlage definiert, wenn die Patientenlage unverändert bleibt;
- bei einer Veränderung der Patientenlage nach der Abspeicherung der Koordinaten wird der Patient angewiesen voll ein- und auszuatmen, wobei die Bahnkurven der Markierungen und deren Extremitäten erneut erfasst und abgespeichert werden, worauf eine Referenzierung der Bahnkurven vor und nach der Patientenlageänderung erfolgt und

die Atemlagen quantitativ verglichen werden.

14. Verfahren nach den Ansprüchen 12 und 13, bei dem die Atemlage des Patienten durch Positionsverfolgung einer am Patienten angebrachten Markierung überwacht und während der Behandlung bei einer Ab- 5
weichung von einer vorbestimmten Atemlage eine Neueinstellung der Atemlage erfolgt.

15. Verfahren nach Anspruch 14, bei dem die Neueinstellung der Atemlage durch bevorzugt automatisch abgegebene Signale an den Patienten erfolgt, insbesondere durch akustische, visuelle oder haptische Signale. 10

16. Verfahren nach Anspruch 11, bei dem vor der Behandlung, und insbesondere bei einem diagnostischen, vorzugsweise atmungsgetriggerten Schichtbildaufnahmeverfahren, sowie während der Behandlung die At- 15
mungstätigkeit des Patienten durch Positionsverfolgung der am Patienten angebrachten Markierung erfasst wird, wobei sowohl vor als auch während der Behandlung die Bahnen der Markierung zwischen einem Punkt maximaler Inhalation und einem Punkt maxima- 20
ler Exhalation erfasst werden, um durch eine Zuordnung der Bahnen eine Patientenpositionierung vorzunehmen.

17. Verfahren nach Anspruch 11, bei dem vor der Behandlung, und insbesondere bei einem diagnostischen, 25
vorzugsweise atmungsgetriggerten, Schichtbildaufnahmeverfahren sowie während der Behandlung die Atmungstätigkeit des Patienten durch Positionsverfolgung der am Patienten angebrachten Markierung erfasst wird und bei dem die Patientenpositionierung mit- 30
tels eines Positionstrackingsystems erfolgt.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

Fig. 1

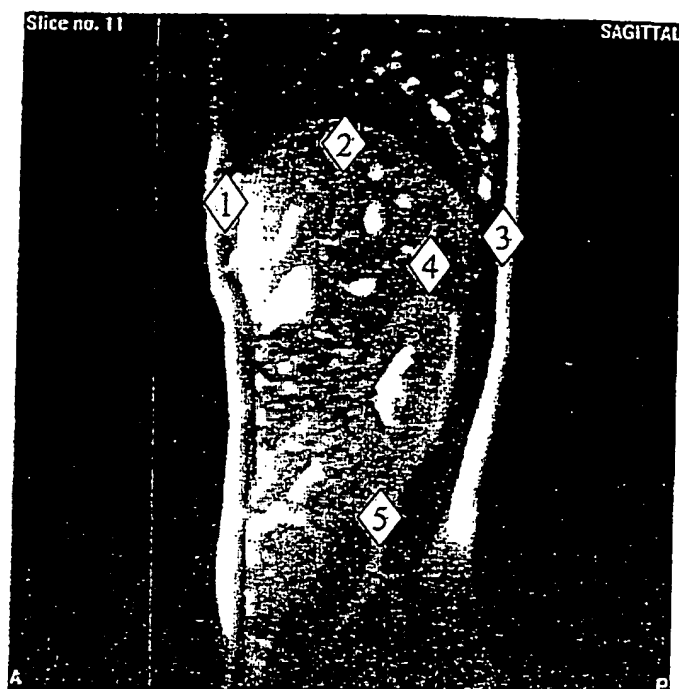


Fig. 2

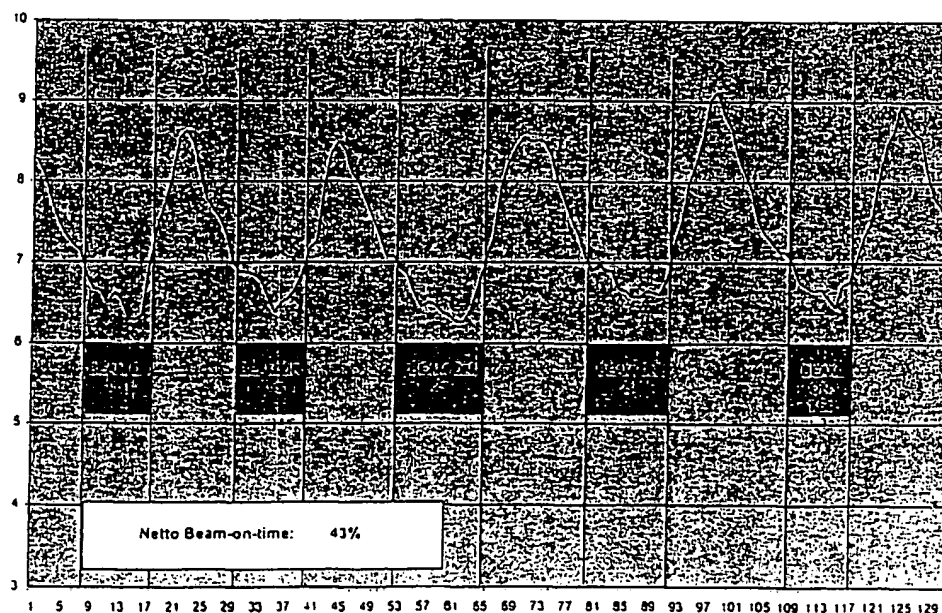


Fig. 3

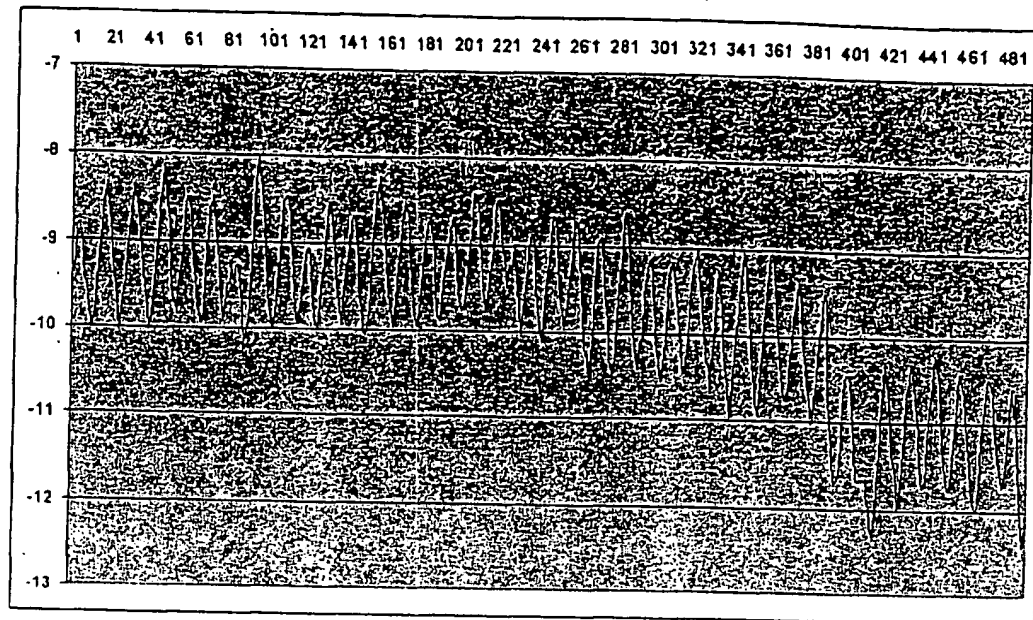
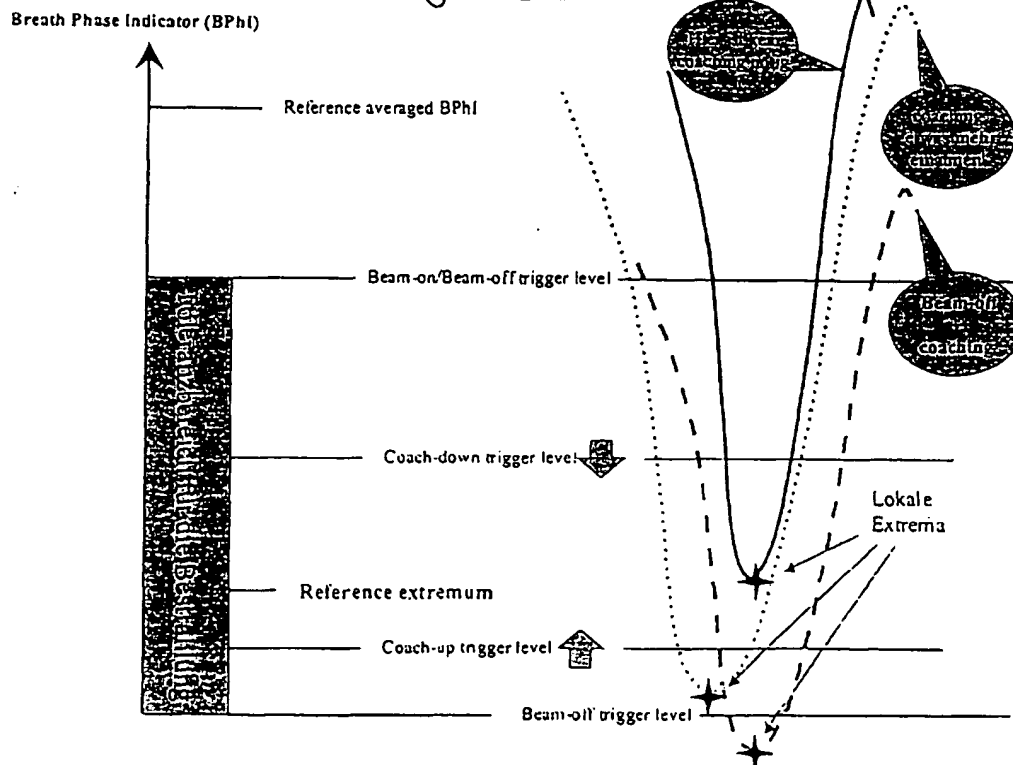


Fig. 4



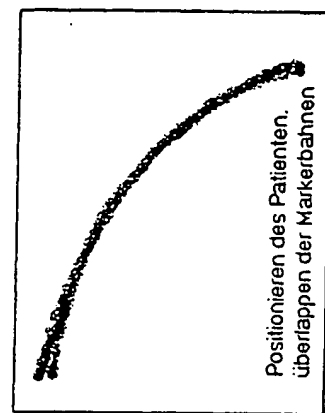


Fig. 6

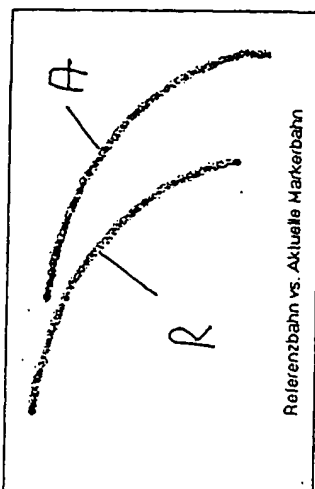


Fig. 5

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.